

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

H01L 21/268

H01L 21/20

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00800825.6

[43]公开日 2001年7月18日

[11]公开号 CN 1304548A

[22]申请日 2000.3.8 [21]申请号 00800825.6

[30]优先权

[32]1999.3.10 [33]JP [31]63107/1999

[32]1999.3.31 [33]JP [31]90439/1999

[86]国际申请 PCT/JP00/01375 2000.3.8

[87]国际公布 WO00/54314 日 2000.9.14

[85]进入国家阶段日期 2001.1.10

[71]申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京都

共同申请人 精工爱普生株式会社

[72]发明人 小川哲也 时冈秀忠 佐藤行雄
井上满夫 笹川智广 宫坂光敏

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

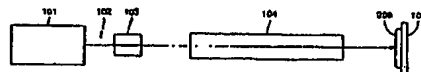
代理人 杨 凯 叶恺东

权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图页数 11 页

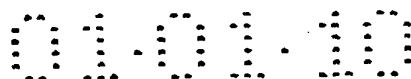
[54]发明名称 激光热处理方法,激光热处理装置以及半导体装置

[57]摘要

把由波长350nm以上至800nm以下的脉冲激光光源(101)发生的聚光激光光束(102)成形为具有宽度(W0)和长度(L0)的线状光束(300),对形成于基板(203)的膜材料(201)照射线状光束(300),对非晶质或者多结晶的硅膜材料进行激光热处理。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种激光热处理方法, 其特征在于, 具备:

把由波长 350nm 以上至 800nm 以下的脉冲激光光源 (101) 发生的
激光光束 (102) 成形为具有宽度 (W0) 和长度 (L0) 的线状光束 (300)
的步骤; 以及

对形成于基板 (203) 上的膜材料 (201) 照射上述线状光束 (300)
的步骤。

2. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述线状光束 (300) 的长度 (L0) 是上述线状光束 (300) 的宽度
(W0) 的 10 倍以上。

3. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述线状光束 (300) 沿宽度方向 (W) 具有 $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上的能
量密度梯度。

4. 如权利要求 3 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述线状光束 (300) 的宽度方向 (W) 的能量密度分布形状呈近似
高斯分布形。

5. 如权利要求 3 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述线状光束 (300) 的宽度方向 (W) 的能量密度分布的形状呈近
似顶部平坦形。

6. 如权利要求 3 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述线状光束 (300) 长度方向 (L) 的能量密度分布是具有近似顶
部平坦形的形状且在把平坦部分的平均强度取为 1 时标准偏差为 0.3 以
下的分布。

7. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述脉冲激光光源 (101) 是把 Nd 离子掺杂或者 Yb 离子掺杂的结
晶或者玻璃作为激励媒质的 Q 开关振荡固体激光器的高次谐波。

8. 如权利要求 7 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述脉冲激光光源 (101) 是从由 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波、
Nd: YAG 激光器的第 3 高次谐波、Nd: 玻璃激光器的第 2 高次谐波、Nd:
玻璃激光器的第 3 高次谐波、Nd: YLF 激光器的第 2 高次谐波、Nd: YLF
激光器的第 3 高次谐波、Yb: YAG 激光器的第 2 高次谐波、Yb: YAG 激
光器的第 3 高次谐波、Yb: 玻璃激光器的第 2 高次谐波以及 Yb: 玻璃激

光器的第 3 高次谐波所组成的组中选择出的某一种。

9. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

由上述脉冲激光光源 (101) 发生的激光光束 (102) 的每一个脉冲的能量是 0.5mJ 以上。

5 10. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

由上述脉冲激光光源 (101) 发生的激光光束 (102) 的脉冲时间宽度小于 200nsec.

11. 如权利要求 1 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述膜材料 (201) 是非晶质或者多结晶的硅膜。

10 12. 如权利要求 11 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

上述非晶质或者多结晶的硅膜的膜厚小于 200nm.

13. 如权利要求 11 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

对上述非晶质或者多结晶的硅膜的同一位置照射的脉冲激光的脉冲数是 100 个脉冲以下。

15 14. 如权利要求 11 所述的激光热处理方法, 其特征在于:

在上述非晶质或者多结晶的硅膜的表面上的照射能量密度是 $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下至 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上。

15. 一种半导体装置, 其特征在于:

20 具备多个晶体管, 该晶体管包括有源层 (401, 402, 404), 通过把由波长 350nm 以上至 800nm 以下的脉冲激光光源 (101) 发生的激光光束 (102) 成形具有宽度 (W0) 和长度 (L0) 的线状光束 (300) 并照射到基板 (203) 上的膜材料 (201) 上, 由已被热处理的上述膜材料 (201) 形成上述有源层 (401, 402, 404), 上述多个晶体管中的至少一个上述晶体管的漏极电流的流动方向 (C) 大致与上述线状光束 (300) 的宽度方向 (W) 平行。

25 16. 一种激光热处理装置, 其特征在于, 具备:

波长 350nm 以上至 800nm 以下的脉冲激光光源 (101); 以及把由该脉冲激光光源 (101) 发生的激光光束 (102) 成形为线状光束 (300) 的线状光束成形光学装置 (104)。

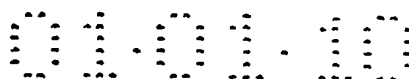
30 17. 如权利要求 16 所述的激光热处理装置, 其特征在于:

上述脉冲激光光源 (101) 是把 Nd 离子掺杂或者 Yb 离子掺杂的结晶或者玻璃作为激光激励媒质的 Q 开关振荡固体激光器的高次谐波。

010110

18. 如权利要求 17 所述的激光热处理装置, 其特征在于:

上述脉冲激光光源 (101) 是从由 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波、Nd: YAG 激光器的第 3 高次谐波、Nd: 玻璃激光器的第 2 高次谐波、Nd: 玻璃激光器的第 3 高次谐波、Nd: YLF 激光器的第 2 高次谐波、Nd: YLF 激光器的第 3 高次谐波、Yb: YAG 激光器的第 2 高次谐波、Yb: YAG 激光器的第 3 高次谐波、Yb: 玻璃激光器的第 2 高次谐波以及 Yb: 玻璃激光器的第 3 高次谐波所组成的组中选择出的某一种。



说明书

激光热处理方法，激光热处理装置以及半导体装置

技术领域

5 本发明涉及为了实现高迁移率的薄膜晶体管，形成结晶性良好的多结晶的硅膜的激光热处理方法、激光热处理装置以及使用该方法或装置制造的半导体装置。

背景技术

10 当前，液晶面板的像素部分通过玻璃或者合成石英的基板上的非晶质或者多结晶的硅膜制作的薄膜晶体管的通断来构成图像。如果在该面板上能够同时构成驱动像素晶体管的驱动电路（当前主要独立地设置在外部），则将在液晶面板的制造成本·可靠性等方面产生突出的优点。然而，当前构成晶体管的有源层的硅膜的结晶性差，因此以迁移率为代表的晶体管的性能差，难以制作要求高速性·高性能性的集成电路。作为以实现高迁移率的薄膜晶体管为目的的改善硅膜的结晶性的方法，
15 一般实施由激光进行的热处理。

以下说明硅膜的结晶性与薄膜晶体管的迁移率的关系。通过激光热处理得到的硅膜一般是多晶硅。在多结晶的结晶粒界中存在着结晶缺陷，这将阻碍薄膜晶体管的有源层的载流子移动。从而，为了提高薄膜
20 晶体管的迁移率，可以减少载流子沿有源层移动过程中横跨过结晶粒界的次数，而且可以减少结晶缺陷密度。激光热处理的目的是形成结晶粒径大而且结晶粒界中的结晶缺陷少的多结晶的硅膜。

图 11 示出现有的激光热处理装置的一例。图 11 中，脉冲激光光源 501 作为热处理使用的激光器，是发出一般所使用的紫外线光的波长小
25 于 350nm 的作为代表性的脉冲激光器的受激准分子激光器（KrF（波长：248nm），XeCl（波长：308nm）等）光源。受激准分子激光器的光 502 从脉冲激光光源 501 射出。光束均化器 503 使受激准分子激光器的光 502 的强度分布均匀。聚光光学系统 504 把受激准分子激光器的光 502 聚光。作为激光热处理的对象配置了非晶质的硅膜 505。非晶质的硅膜 505 形
30 成在玻璃或者石英基板 507 上的基底氧化硅膜 506 上。

其次，说明现有的激光热处理方法。从脉冲激光光源 501 射出的受激准分子激光器的光 502 经过光束均化器 503 由聚光光学系统 504 照射

到非晶质的硅膜 505 上。利用受激准分子激光器的光 502 的照射熔融照射区域中的非晶质的硅膜 505 上。然后，随着温度下降，熔融了的硅发生结晶化，形成多结晶的硅膜。这里，对于受激准分子激光器的光，由于硅具有非常高的吸收系数，因此即使很薄的硅膜也能够进行高效的热处理。然而，由于吸收系数过高，故激光在表面附近 10nm 附近被吸收。非晶质的硅膜 505 的熔融过程示于图 12A ~ 图 12D。图 12A 示出沿以 P 所示的方向照射激光时，图 12B 示出照射数 10ns 后，图 12C 示出图 12B 之后进一步照射数 10ns 后，图 12D 示出结晶生长后的硅膜 505 的状态。激光照射时，硅膜 505 具有基于图 12A 所示的高斯光束剖面 601 的熔融深度分布以及温度分布，形成硅膜的熔融部分 603。由于热一般以宽的角度传导，因此由于热传导，随着熔融深度的变深，如图 12B 所示，其分布逐渐衰减，最终如图 12C 所示成为均匀分布，形成硅膜的熔融部分 603。从而，由于沿横向不存在温度分布，因此再结晶生长成为纵向生长，图 12D 所示那样得到的结晶粒 604 呈纵长状。即，对于载流子移动的面方向的结晶粒径减小。

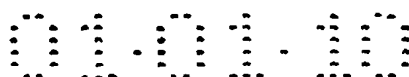
图 13 示出把这样形成的多结晶硅膜作为有源层制作的 MOS 晶体管的迁移率（n 沟道）对于激光器的照射能量密度的依存性。图 13 示出作为脉冲激光光源 501（图 11）使用 KrF 受激准分子激光器光源的结果，其脉冲时间宽度大约是 15nsec（FWHM）。另外，氧化硅膜 506，非晶质的硅膜 505 的厚度分别是 200nm，50nm。这里，被激光照射的面积规定为由照射强度达到峰值的 $1/e^2$ 以上的部分构成的面积，照射能量密度从照射的激光能量算出。如由图 13 所知，在上述的激光热处理条件下，通过把受激准分子激光器的照射能量密度设定为 $230\text{mJ}/\text{cm}^2$ 可以得到最高迁移率为 $80\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，另外在 $\pm 5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的范围内可以得到最高迁移率的八成以上的迁移率。然而，在这种程度的迁移率下，用于制作高速、高性能的集成电路是不够的。另外，如从图 13 所见，迁移率对于激光能量密度的依存性很大，在把同样方法导入到生产线时，如果不能继续严密地控制激光器输出以及光学系统的聚光性，则存在所制作的晶体管的特性分散的问题。考虑这是因为由于硅中的受激准分子激光器的光的吸收率很大，因微小的噪声能量密度的变化而使熔融状态不同导致再结晶过程发生变化的缘故。

从多结晶硅膜的大粒径化观点出发，使用波长 350nm 以上的长波长

激光进行激光热处理的试验在论文层次(文献 1 (Appl. Phys. Lett. 39, 1981, p425-p427), 文献 2 (Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 4, 1982, p523-528), 以及文献 3 (Vol. 358, 1995, p915-920)) 中完成. 这里作为波长 350nm 以上的长波长激光, 使用 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波 (波长: 532nm). 在这些报告例中, 照射位置中的光束剖面是轴对称高斯分布. 如果依据文献 1 以及 2, 则使用 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的激光热处理的再结晶过程说明如下. 使用图 14A~图 14G 进行说明. 如图 14A 所示, 如果从聚光光学系统 504 沿以 P 所示的方向向硅膜 505 照射高斯分布剖面 601 的聚光激光光束 611, 则由于在硅膜 505 内形成极其接近于高斯分布的温度分布 612, 因此如图 14B 所示, 在熔融状态下形成熔融部分 613. 在图 14B 中, 在熔融深度浅的位置 C 上, 主要起因于朝向基板一侧的热损失, 沿纵向形成温度分布. 其结果, 如图 14C 所示那样结晶生长 614 向纵向三维地各向同性地产生, 再结晶粒径被熔融深度的较浅部分所限制, 成为数 100nm 小的粒径. 然而, 在图 14B 中由于到与基板的界面为止, 熔融的部分 D 沿横向具有很大温度梯度, 因此如图 14D 所示那样示出不同的再结晶过程 615. 即以基于纵向生长的小粒径结晶为种子向温度高的中心沿横向进行再结晶生长. 其结果, 在载流子移动的面内, 形成数 μm 径的大结晶粒.

但是, 在这些报告中, 高斯光束剖面呈轴对称这一点成为很大的问题. 由于照射位置下的剖面是轴对称, 因此结晶粒 616 如图 15 所示, 呈放射形地生长. 从而, 如果把该多结晶的硅膜用作有源层制作 MOS 晶体管, 则成为如图 16 所示那样的结构. 在图 16 中, 晶体管具备源极 701, 漏极 702, 源极 701 与漏极 702 之间被夹持的沟道 704 和沿沟道 704 上横贯形成的栅极 703. 有源层包括源极 701, 漏极 702 以及沟道 704, 由多结晶的硅膜形成. 在载流子移动的沟道 704 中的结晶粒 616 的方位不对齐, 在方位不同的结晶粒 616 的边界面上载流子被散射, 因此载流子的迁移率下降. 另外, 由于各个结晶粒呈中心对称地生长, 因此在各个结晶粒之间易于发生间隙、即作为结晶缺陷一种的移位, 导致结晶缺陷密度的增大. 因此, 激光热处理后的多晶硅硅膜质的面内均匀性非常差, 没有制作了薄膜晶体管的报告例.

这里, 说明硅膜厚与 MOS 晶体管的关系. 一般, 由于构成有源层的硅膜厚度越薄, 则以 $dV_G/d(\log I_{DS})$ (V_G : 栅极电压, I_{DS} : 漏极电流)



定义的 s 因子越小, 因此阈值电压降低。其结果, 晶体管的驱动电压降低, 功耗很小。从而, 在装到作为液晶面板的主要用途的便携信息终端设备中时, 具有非常大的优点。然而, 由于文献 1 以及 2 中使用的硅膜的膜厚是比较厚的 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$, 阈值电压高, 功耗大, 因此予想不能起到作为晶体管的功能。

通常, 为了进行大面积激光热处理, 在使基板移动的同时进行激光热处理, 而为了达到热处理后膜质的均匀性, 一般使各个激光脉冲照射期间的基板的移动量比照射光束宽度窄, 在同一个位置进行多次激光照射。如果依据文献 3, 向同一个位置的照射次数可以达到 200 次以上。这是以激光热处理后的硅膜的 X 线衍射峰值强度的增大以及电阻值的减少为根据的。在文献 3 中, 没有谈到表面皸裂, 然而一般情况下, 如果增多照射次数, 则表面皸裂增大, 另外硅膜部分地从基板剥离。在把多晶硅膜作为有源层制作共平面型或者正交错型 MOS 晶体管时, 如果表面皸裂大, 则存在栅极氧化膜短路的问题, 另外如果硅膜部分地剥离, 也往往不能够形成 MOS 晶体管。

在把现有的波长 350nm 以下的作为代表性的脉冲激光器的受激准分子激光器作为光源进行的热处理中, 由于再结晶生长是纵向生长, 因此结晶粒径小, 存在只能够得到薄膜晶体管的迁移率为 $80\text{cm}^2/\text{Vs}$ 左右的低值这样的问题。另外, 由于迁移率对于照射能量密度的依存性极大因此不能够得到恒定的迁移率, 在所制作的晶体管的特性方面具有离散性也是一个问题。

另一方面, 在以结晶粒的增大引起的薄膜晶体管的迁移率增大为目标的使用了现有的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的激光热处理中, 由于使用轴对称高斯光束, 因此存在在各个结晶粒的方位未对齐而制作了薄膜晶体管时迁移率低、结晶粒界中的结晶缺陷密度高这样的问题。

另外, 以提高结晶品质为目标, 由于向同一个位置的激光照射次数达到 200 次以上, 因此存在表面皸裂增大, MOS 晶体管的栅极氧化膜短路, 硅膜剥离从而不能够制作薄膜晶体管的问题。

本发明的目的在于提供形成用于制作高性能的薄膜晶体管而所需要的结晶性良好的薄膜的激光热处理方法。

另外, 本发明的另一个目的在于提供生产率高, 稳定的激光热处理方法。

本发明的再一个目的在于提供能够以低成本进行高速工作的半导体装置。

本发明的再一个目的在于提供实施形成结晶性良好的薄膜的激光热处理的激光热处理装置。

5 发明的公开

本发明一个方案的激光热处理方法具备把从作为波长 350nm 以上 800nm 以下的脉冲激光光源发生的激光光束成形为具有宽度和长度的线状光束的步骤和对基板上形成的膜材料照射线状光束的步骤。如果依据该激光热处理方法，则能够稳定地得到结晶的粒径大且品质高的薄膜。

10 在该本发明的激光热处理方法中，线状光束的长度最好是线状光束的宽度的 10 倍以上。这种情况下，能够可靠地进行结晶的横向生长，可以得到高品质的多结晶膜。

本发明另一个方案的激光热处理方法具备把作为从波长 350nm 以上至 800nm 以下的脉冲激光光源发生的激光光束成形为具有宽度和长度的线状光束的步骤和对基板上形成的膜材料照射线状光束的步骤，进而，线状光束沿横向具有 $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上的能量密度梯度。如果依据该激光热处理方法，则能够稳定地得到结晶的粒径更大而且品质更高的薄膜。

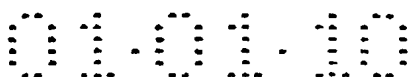
20 在本发明另一个方案的激光热处理方法中，线状光束的宽度方向的能量密度分布的形状最好是大致高斯分布。这种情况下可以期待后退火的效果。

在本发明另一个方案的激光热处理方法中，线状光束的宽度方向的能量密度分布的形状最好是大致顶部平坦形。这种情况下，能够抑制成为磨蚀原因的峰值的高度，能够加大照射能量密度分布的梯度。

25 在本发明另一个方案的激光热处理方法中，线状光束的长度方向的能量密度分布最好是具有大致顶部平坦形状且在把平坦部分的平均强度取为 1 时标准偏差为 0.3 以下的分布。这时，缓和关于光束剖面照明光学系统性能的要求，能够降低成本。

30 在该本发明的激光热处理方法中，脉冲激光光源最好是把 Nd 离子掺杂或者 Yb 离子掺杂的结晶或者玻璃作为激励媒质的 Q 开关振荡固体激光器的高次谐波。这种情况下，能够进行高效稳定的热处理。

在本发明的激光热处理方法中，脉冲激光光源更理想的是 Nd: YAG



5 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波, Nd: 玻璃激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波, Nd: YLF 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波, Yb: YAG 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波, 或者 Yb: 玻璃激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波的某一种。这种情况下, 能够以低成本进行稳定而且生产率高的热处理。

在该发明的激光热处理方法中, 由脉冲激光光源发生的激光光束的每一个脉冲的能量最好是 0.5mJ 以上。这种情况下能够进行生产率高的热处理。

10 在该发明的激光热处理方法中, 由脉冲激光光源发生的激光光束的脉冲时间宽度最好是小于 200nsec。这种情况下能够进行有效的热处理。

在该发明的激光热处理方法中, 作为膜材料最好使用非晶质或者多结晶的硅膜。这种情况下能够进行特性稳定的热处理。

15 在该发明的激光热处理方法中, 非晶质或者多结晶的硅膜的膜厚最好是小于 200nm。这种情况下, 能够得到大的结晶粒, 能够进行良好的激光热处理。

在该发明的激光热处理方法中, 在非晶质或者多结晶的硅膜的同一位置照射的脉冲激光的脉冲数最好小于 100 个脉冲。这种情况下能够得到表面状态良好的多结晶膜。

20 在该发明的激光热处理方法中, 照射到非晶质或者多结晶硅膜的表面的照射能量密度最好是 1500mJ/cm² 以下至 100mJ/cm² 以上。这种情况下, 能够得到表面状态良好的多结晶膜。

25 本发明其它方案的半导体装置具备多个晶体管, 该晶体管包括有源层, 通过把由波长 350nm 以上 800nm 以下的脉冲激光光源发生的激光光束形成为具有宽度和长度的线状光束照射到基板上的膜材料上, 从被热处理了的基板上的膜材料形成有源层, 多个晶体管中的至少一个晶体管最好是在更高频率下工作的晶体管漏极电流的流动方向大致与线状光束的宽度方向平行。这种情况下, 能够以低成本得到高速工作的装置。

30 本发明另一个方案的激光热处理装置具备波长 350nm 以上至 800nm 以下的脉冲激光光源和把由该脉冲激光光源发生的激光光束成形为线状光束的光束成形光学装置。通过使用该激光热处理装置, 在多结晶薄膜的制作中, 能够进行高品质的热处理。

在该发明的激光热处理装置中, 脉冲激光光源最好是把 Nd 离子掺



杂或者 Yb 离子掺杂的结晶或者玻璃作为激光激励媒质的开关振荡固体激光器的高次谐波。这种情况下，能够提供稳定的装置。

在该发明的激光热处理装置中，脉冲激光光源更理想是 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波，Nd: 玻璃激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波，Nd: YLF 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波，Yb: YAG 激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波，或者 Yb: 玻璃激光器的第 2 高次谐波或者第 3 高次谐波的某一种。这种情况下，能够以低成本提供稳定高效的装置。

附图的简单说明

10 图 1 作为该发明的实施形态示出激光热处理装置的概念性结构。

图 2 是示出实施图 1 的激光热处理的目标的结构模式剖面图。

图 3 示出向同一位置多次照射激光的状态。

图 4A 示意性地示出本发明的线状光束剖面，图 4B 示意性地示出基板上的膜材料熔融的状态。

15 图 5 是示出根据本发明的激光热处理方法形成的多晶硅膜的示意图。

图 6 示出把根据本发明的激光热处理方法得到的多结晶的硅膜用作有源层制作的 NMOS 晶体管的迁移率对于照射能量密度的依存性。

20 图 7 是示出把根据本发明的激光热处理方法形成的多结晶的硅膜用作有源层制作的 MOS 晶体管的示意图。

图 8 是示出具有干涉的线状光束剖面的线方向的光束强度分布的示意图。

图 9 是示出基于本发明的激光热处理方法的再结晶过程的示意图。

25 图 10 按照每一个照射能量密度梯度示出把根据本发明的激光热处理方法得到的多结晶的硅膜用作有源层制作的 NMOS 晶体管的迁移率对于照射能量密度的依存性。

图 11 示出基于受激准分子激光器的现有的激光热处理装置的概念性结构。

30 图 12A ~ 图 12D 示意性地说明基于受激准分子激光器的现有的热处理过程。

图 13 示出把根据受激准分子激光器热处理得到多结晶的硅膜用作有源层制作的现有的 NMOS 晶体管的迁移率对于照射能量密度的依存性。

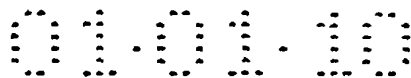


图 14A~图 14D 示意性地说明基于现有的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的热处理过程。

图 15 是示出基于现有的高斯型剖面的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的热处理形成的结晶粒的示意图。

5 图 16 是示出把基于现有的高斯型剖面的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的热处理形成的多结晶膜用作为有源层制作的 MOS 晶体管的示意图。

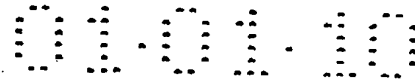
用于实施发明的最佳形态

实施形态 1

10 图 1 是把本发明的激光热处理方法具体化了的装置的结构图。图 1 中, 作为脉冲激光光源 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波振荡装置 101 射出激光 (波长为 532nm) 102。可变衰减器 103 是用于调整激光 102 的强度的装置。线状光束成形光学系统 104 用于把激光 102 变换为线状光束。靶 200 设置在移动台 105 上。激光 102 用可变衰减器 103 调整到预定的强度以后, 入射到线状光束成形光学系统 104。利用线状光束成形光学系统 104 变换为线状的激光剖面以后, 照射到靶 200 上, 进行激光热处理。靶 200 的基板设置在移动台 105 上, 在激光照射时基板能够移动。另外, 靶 200 的详细情况示于图 2 中。如图 2 所示, 在玻璃基板 203 上作为基底膜 202 由 CVD (化学汽相淀积) 法形成厚度 200nm 的氧化膜硅膜, 在其上面, 作为基板上的膜材料, 利用 LPCVD (低压 CVD) 形成厚度 70nm 的非晶质的硅膜 201 作为靶 200。

25 在使移动台移动的同时, 激光光束朝向与具有大致矩形的横剖面的线状光束的长度方向正交的方向、即线状光束的宽度方向进行照射。在激光照射的各个脉冲间隔内, 如果使支架移动的距离比线状光束的宽度长, 则激光器向同一个位置的脉冲的照射次数为 1 次, 如果比线状光束的宽度短, 则如图 3 所示成为在同一位置多次照射激光。图 3 中, 激光脉冲向以 P 表示的方向照射。通过在使基板 203 向以 Q 表示的方向移动的同时, 向以 P 表示的方向照射激光脉冲, 由此, 上一次的脉冲具有以 P1 表示的激光光束剖面, 上一次的脉冲具有以 P2 表示的激光光束剖面, 当前的脉冲具有以 P3 表示的激光光束剖面。各个脉冲的激光光束剖面由于具有重叠部分, 因此在硅膜 201 的同一位置上多次照射激光。

图 4A~图 4D 示出照射激光光束非晶质的硅膜 201 熔融时的概念图。



利用位于图 1 的线状光束成形光学系统 104 输出部分的聚光透镜 1041, 在非晶质的硅膜 201 上聚光并且照射具有长度 L_0 和宽度 W_0 的线状光束 300. 聚光激光光束剖面 301 如用图 4A 中的虚线所示, 线状光束 300 的长度方向 L 是作为均匀剖面的顶部平面形, 宽度方向 W 的剖面例如是高斯分布形. 本发明中, 如果使用基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的线状光束的热处理方法, 则由于对于非晶质的硅膜的第 2 高次谐波的吸收系数小因此对于膜厚方向大致均匀地加热, 由激光照射发生的硅膜 201 内的横向温度分布 302 仅形成在与线状光束 300 的长度方向正交的方向. 从而, 如图 4B 所示, 作为基板上膜材料的非晶质的硅膜 201 的某种强度以上的光束在深度方向总体上熔融. 即, 扩展到整个深度方向, 产生线状分布的熔融部分 303. 由此, 由于在深度方向以及线状光束 300 的长度方向 L 上温度分布少, 因此结晶生长成为向线状光束 300 的宽度方向 W 的一维横向生长, 结晶粒径形成数 μm 左右的大结晶粒. 另外, 激光热处理后形成的多结晶硅膜的结晶粒 306 如图 5 所示, 在与线状光束的长度方向相正交的作为结晶生长方向的线状光束宽度方向 W 、即移动台的移动(扫描)方向上对齐.

这里必须注意的一点是以往至今一直在受激准分子激光器的热处理中使用线状光束, 而这一点是根据与本发明完全不同的概念进行的. 如使用图 12A~图 12D 说明基于受激准分子激光器的再结晶生长那样, 由于是对于膜的厚度方向的生长因此各个结晶粒的面内方位不规则, 边界面处的结晶方位是随机的, 因此不能够如本发明的基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的线状光束的热处理的情况那样去除各个结晶粒的边界面中的结晶方位的偏移, 从这方面看, 在获得晶体管的高迁移率方面本质上也具有界限. 在受激准分子激光器热处理中使用线状光束只是为了确保膜质的面内均匀性并且提高生产率. 与此不同, 如果依据本发明, 通过在基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的热处理中使用线状光束, 形成品质高而且粒径大的结晶, 成功地增加了晶体管的迁移率.

以下, 说明本发明的实际数据. 作为脉冲激光光源所使用的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的脉冲能量是 20mJ/pulse , 脉冲时间宽度是 60nsec (FWHM) . 另外, 在硅膜表面内的照射面积是 $50\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$, 通过使用图 1 所示的可变衰减器 103 调整激光的能量, 在照射能量密度为 $300 \sim 1500\text{mJ/cm}^2$ 的范围内进行了实验. 在硅膜上的同一位置进行 20 次

激光照射。另外，环境气氛是大气，基板温度是室温。

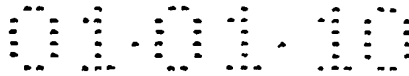
在以上的条件下，进行非晶质的硅膜的激光热处理，制作了以根据其结果得到的多结晶的硅膜构成有源层的平面型 MOS 晶体管。使晶体管的漏极电流的方向成为光束的宽度方向，即结晶生长的方向。沟道的长度以及宽度分别是 $5\mu\text{m}$ 以及 $10\mu\text{m}$ 。图 6 中示出 n-沟道迁移率对于照射能量密度的依存性。

过去没有把基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的激光热处理形成的玻璃基板上的多结晶硅膜作为有源层制作薄膜晶体管的报告例，本发明是首次。如图 6 所示，照射强度是 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上，作为 MOS 晶体管的 n-沟道迁移率达到接近 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的值，可以确认具有基于受激准分子激光器情况下的 2 倍的性能。晶体管的迁移率对于照射能量密度的依存性非常平滑，迁移率成为最高迁移率的 80% 以上照射能量密度的允许范围成为 $\pm 200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上，极其宽。

与此不同，把基于受激准分子激光器热处理的多结晶的硅膜用作为 MOS 晶体管的 n-沟道迁移率的最高值如前面图 13 中所示那样，在照射能量密度为 $230\text{mJ}/\text{cm}^2$ 下仅是 $80\text{cm}^2/\text{Vs}$ 左右。迁移率对于照射能量密度的依存性非常大，如果允许迁移率成为最高迁移率的 80% 以上的照射能量密度的范围，则允许范围成为 $\pm 5\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，极为狭窄。这一点在实际生产时将成为很大的问题。另外，由于可以得到最高迁移率的照射能量密度 $230\text{mJ}/\text{cm}^2$ 中的多结晶硅膜的结晶粒径是纵向生长，因此为很小的数，约 100nm 左右。

这样，在使用了 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的情况下，与受激准分子激光器的情况相比较可知，照射强度的允许范围也扩大数 10 倍。即，可知具有掩盖基于激光器的热处理在稳定性上存在缺陷的常识的划时代的特长，在生产过程中，可以得到以往无法设想的稳定性和可靠性。另外，如果利用 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波，则由于再结晶生长是横向生长，因此可以得到结晶粒径为数 μm 左右的比基于受激准分子激光器大 1 位这样的激光热处理下的极大优点。

另外，作为膜材料，在这里说明了硅，当然也可以对于碳化硅 (SiC)，或者仅由碳构成的材料，或者化合物半导体，或者介质化合物，或者高温超导化合物实施激光热处理，具有可以得到大结晶粒径这样的相同效果。



实施形态 2

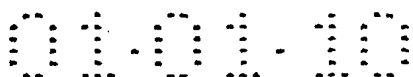
在实施形态 2 中说明在实施形态 1 中说明过的热处理了的基板材料上制作的半导体装置。把在实施形态 1 中说明过的利用 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波进行热处理形成了的多结晶硅膜用作为有源层, 如图 7 所示构成 MOS 晶体管元件。在有源层中, 形成源极 401, 漏极 402 和夹在源极 401 与漏极 402 之间的沟道 404。横跨沟道 404 的上面形成栅极 403。如果构成晶体管, 使得线状光束的宽度方向 W, 即再结晶生长的方向成为漏极电极的流动方向 C, 则由于没有各个结晶粒 306 的边界面中的结晶方位的偏移, 因此, 载流子在边界面上不散射, 由于粒界极为狭窄, 所以结晶粒界中的结晶缺陷密度也减小, 显著地提高晶体管的迁移率。从而, 在基板上制作的晶体管, 如果把高次谐波下工作的晶体管制作成使得线状光束的宽度方向 W, 即结晶生长的方向成为漏极电流的流动方向, 则能够提供在更高频率下进行工作的装置。另外, 在基于本发明的方法中, 并不只是结晶粒加大, 晶体管的迁移率增大, 而且具有对于激光照射能量密度可以得到的晶体管的₁₅最大迁移率的条件不是临界值。即使激光的强度稍有变化也能够得到稳定特性的晶体管这样的极大优点。

实施形态 3

在实施形态 3 中, 说明线状光束的形状。对于线状的照射区域, 在实施形态 1 的实验中以照射 $50\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 的区域进行, 而如上所述, 由激光照射发生的硅膜内的横向温度分布仅形成在与线状光束的长度方向相正交的方向且结晶生长沿一维方向产生是主要的情况发生于照射区域的长度对于宽度的比是 10 倍左右以上时。即, 在照射位置处的激光的宽度是 $50 \sim 100\mu\text{m}$, 长度是 1mm 以上即可。

实施形态 4

在实施形态 4 中, 说明实施形态 1 的激光热处理的照射强度。首先, 说明有关基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的激光热处理照射强度的上限值。在提高照射能量密度的情况下, 如果超过 $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 则硅膜磨损, 从基板完全被剥离下来。从而, 激光的照射能量密度必须是₃₀ $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下。关于照射强度的下限值, 观测到在大致 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上时非晶质的硅膜发生多结晶化, 如果是该值以上的照射强度则能够得到热处理的效果。如果考虑到结晶粒的大小或者制作半导体元件时的晶



体管的迁移率，最好是 $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上。

实施形态 5

在本实施形态 5 中，说明实施形态 1 的激光热处理中的向同一位置的激光照射次数。在关于本发明进行的照射实验中，在 100 次以上的照射次数下可以发现剧烈的表面粗糙或者由磨蚀引起的部分膜的剥离，不能够制作薄膜晶体管。引起这样的表面粗糙或者磨蚀的原因在于硅膜一侧与激光一侧这两者。硅膜一侧的原因是由膜厚的不均匀性、膜密度的不均匀性引起的激光照射时的热分布不均匀。作为激光一侧的原因，在于斑点等干涉引起的在光束剖面中重叠发生波纹。图 8 示出该状况。图 8 示出线状光束剖面的长度方向的详细分布，由于干涉产生波纹，该方向的分布稍有不均匀。根除这样的原因非常困难。实际上，重复表面粗糙在第 1 次照射下轻微发生、其成为第 2 次照射时的不均匀性这样的恶性循环，如果照射次数增多则根据相乘效果表面粗糙加剧。确认了通过把照射次数限定在 100 次以下、表面粗糙在制作薄膜晶体管方面不致产生障碍。

实施形态 6

在实施形态 6 中，说明作为实施形态 1 的激光热处理的靶的非晶质或者多结晶的硅膜的膜厚。在使玻璃基板移动的同时进行激光热处理的情况下，由于对于同一位置多次照射激光，因此反复进行热处理。首先，通过最初的几次激光照射形成粒径大的多结晶的硅膜。其结果，与良好的结晶部分相比较，结晶粒界等的结晶缺陷部分一般吸收系数较高。即由于结晶缺陷部分吸收更多的激光，因此结晶缺陷部分优先被热处理，能够有效地进行缺陷补偿。由此，光到达何种深度是非常重要的。对于物质的光的渗透长度用光强度成为 $1/e$ 的深度来定义，而对于多结晶的 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的浸透长度是 $100 \sim 200\text{nm}$ 左右。从而，如果非晶质或者多结晶的硅膜的膜厚小于 200nm ，最好小于 100nm ，则形成结晶缺陷有效被降低了的多结晶硅膜。

实施形态 7

在实施形态 7 中，说明实施形态 1 中的激光热处理中的照射激光的脉冲时间宽度的影响。为了基本上对非晶质的硅膜进行热处理，需要以对其表面没有磨蚀的一定以下的峰值功率以内提供供给熔融所必需的热能的脉冲时间宽度。反之，如果满足一定的熔融条件，只是把脉冲时间

宽度延长到所需要的以上而不必要地增大激光输出，则将使作为生产装置的效率、生产率降低。在本次实验中，以 60ns 的脉冲宽度进行了实验，而为了平缓地进行再结晶时的冷却过程以获得改善结晶的品质的效果，如果以小于 60ns 数倍的 200ns，最好以 60ns 的 2 倍左右的 100ns 5 下进行，则能够进行不存在磨蚀而且高效的热处理。

实施形态 8

在实施形态 8 中，说明实施形态 1 中的激光热处理中的激光的能量。在本实施形态 1 的实验中，在照射位置下的每一个脉冲的能量强度为 800mJ/cm² 时可以得到最佳特性，而这时的全部照射能量是 4mJ/pulse。10 激光从振荡装置射出以后，在中途的光学系统中损耗 10~20%，即，由振荡装置射出的激光的能量可以是 5mJ/pulse 以上。激光的每个脉冲的能量越高，则越能够照射广泛的照射面积，本发明的情况下，能够把线状光束的长度加长，能够提高生产率。另外，上述的线状光束的下限值，即为了以宽度 50 μm 照射长度 1mm 的区域照射激光，需要最低15 0.5mJ/pulse 的激光振荡装置。进而，从生产率来讲，如果可以用一次脉冲对 25mm (1 英寸) 长度的区域照射，由于例如作为所制作的半导体装置，能够以一个光束的扫描来处理对角约为 1.3 英寸左右的薄膜晶体管 (TFT) 的区域，因而将非常有利。这时，需要 15mJ/pulse 的激光振荡装置。如上所述，发挥本发明线状光束的效果的是 0.5mJ/pulse 以上的20 的激光振荡装置，而从生产率出发，最好是 15mJ/pulse 以上的激光振荡装置。

实施形态 9

在实施形态 9 中，说明实施形态 1 的激光热处理中使用的激光器。在实施形态 1 中说明了基于 Nd: YAG 第 2 高次谐波的激光照射。由于 Nd:25 YAG 的第 2 高次谐波可以得到效果良好而且高输出的激光，因此具有可以使热处理的生产率良好的优点。如果依据本发明的宗旨，则关于进行照射的激光器，只要是基本上通过由对于非晶质的硅膜的激光的吸收率决定具有相同等级的吸收率的 350nm~820nm 的脉冲激光，则都可以得到能够制作大结晶粒径的膜的效果。从而，不只是可使用 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波，也可以使用其它 Nd 离子掺杂的固体激光器的高次30 谐波，即、Nd: YAG 激光器的第 3 高次谐波，Nd: 玻璃激光器的第 2 或者第 3 高次谐波，Nd: YLF 激光器的第 2 或者第 3 高次谐波，Yb: YAG

或者 Yb: 玻璃这样的 Yb 离子掺杂的固体激光器的第 2 或者第 3 高次谐波, Ti: 蓝宝石激光器的基波或者第 2 高次谐波进行热处理。这些固体激光器能够产生高效而且稳定的振荡。另外, 特别是把 YAG 或者 YLF 这样的结晶作为媒体的固体激光器中能够提高脉冲振荡的脉冲重复周期, 具有能够提供生产率高的激光的优点。

实施形态 10

迄今为止, 使用受激准分子激光器进行了基于线状光束剖面的激光热处理, 而这是与基于波长 350nm 以上的激光热处理根本不同的概念进行的。由于基于波长 350nm 以上的激光热处理在再结晶过程中对于作为膜的面内方向的横向产生再结晶生长, 因此能够实现大结晶粒径, 而由于基于受激准分子激光器的热处理是对于作为膜厚度方向的纵向的生长, 因此难以实现大粒径化。基于线状光束的受激准分子激光器的热处理只是为了谋求提高激光热处理后的膜质的面内均匀性以及生产率的提高。

以上所述的基于波长 350nm 以上的激光热处理中的横向生长的过程对于硅膜内沿横向形成的温度分布影响很大。即, 对于所照射的线状光束的宽度方向的能量密度分布影响很大。由激光照射导入到硅膜内的热均匀地向基板散逸。即, 硅膜内的横向温度分布均匀地降低。如图 9 所示, 由激光进行热处理的硅膜 201 由熔融部分(液相) 2011 和固相 2012 组成。硅膜 201 的熔融部分 2011 内首先从温度低于熔点部分开始, 朝向随后温度低于熔点的部分沿横向以 2014 所示的方向结晶生长。而且该结晶生长 2014 被在温度冷却的过程中因自然核发生生成的微结晶 2013 而遮挡住其行进, 停止横向结晶生长。即, 虽然尽可能在引起自然核发生为止的时间内结晶粒可以较长地生长, 然而为此要求提高结晶生长速度。一般, 在某个微小区域中的结晶生长速度 v 由 $v = k \Delta T / \Delta x$ 表示。这里, k 是速度常数, ΔT 是微小区域中的温度差, Δx 是微小区域的宽度。即, 在关于硅膜内的横向存在温度分布时, 如果作为熔点以上的温度的区域中的温度分布是陡峭的梯度, 则结晶生长速度加快, 其结果, 能够形成结晶粒径大的多结晶硅膜。关于作为现实问题的硅膜内的横向温度分布的陡峭梯度化, 能够通过使靶表面的照射能量能量密度分布成为陡峭梯度而实现。

以下, 说明基于本发明的实际数据。如使用图 1~图 5 所说明过的

那样, 与实施形态 1 相同地进行激光热处理。作为所使用的脉冲激光光源, Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的脉冲能量是 20mJ/pulse , 脉冲时间宽度是 60nsec (FWHM) 。另外, 在硅膜表面的激光照射面积是 $50\mu\text{m} \times 10\text{mm}$ 或者 $250\mu\text{m} \times 10\text{mm}$, 通过图 1 所示的可变衰减器 103 调整激光的能量, 使照射能量密度处于 $300 \sim 1000\text{mJ/cm}^2$ (以光束照射面积除全部照射能量的值) 的范围进行了实验。该实验是在线状光束的横向的照射能量密度分布梯度的最大值是 $4\text{mJ/cm}^2/\mu\text{m}$ (是照射面积: $250\mu\text{m} \times 10\text{mm}$, 照射能量密度 800mJ/cm^2 的值) 和 $30\text{mJ/cm}^2/\mu\text{m}$ (是照射面积: $50\mu\text{m} \times 10\text{mm}$, 照射能量密度 800mJ/cm^2 下的值) 下进行的。对硅膜上的同一位置的激光照射次数取为 20 次。另外, 环境气氛是大气, 基板温度是室温。

这里, 说明照射能量密度分布梯度的决定方法。首先, 测定非晶质的硅膜表面的照射位置中的线状光束剖面, 即照射能量密度分布。这里, 把照射能量密度分布定为对于某个微小部分照射的一个脉冲中的能量换算为每个单位面积的量的分布。单位通常用 mJ/cm^2 表示。使用由发光二极管一维阵列构成的线状图形传感器, 对于线状光束的长度方向和宽度方向进行测定。根据这样的实测得到的二维的照射能量密度分布是相对值, 还不具有绝对的数值。把由实测得到的二维的照射能量密度分布对于面积进行积分求得积分值。另外, 如果对实测的照射能量分布进行添值, 使得根据功率仪器等测定激光光束总体能量的测定器进行测定的激光光束总体的每一个脉冲的能量与前面测定的积分值相等, 则作为绝对值可以得到照射能量密度分布。照射能量密度分布的梯度是把这样得到的照射能量密度分布的绝对值对于位置进行微分的结果。在以上的条件下, 进行了非晶质的硅膜的激光热处理。其结果得到的多结晶的硅膜的结晶粒径在线状光束宽度方向的照射能量密度分布的梯度的最大值为 $4\text{mJ/cm}^2/\mu\text{m}$ (照射强度 800mJ/cm^2 的值) 的情况下扫描了光束剖面方向的结晶粒的长度为 $1\mu\text{m}$ 左右, 而对于 $30\text{mJ/cm}^2/\mu\text{m}$ (照射强度 800mJ/cm^2 的值) 的情况, 成为 $3\mu\text{m}$ 左右大到 3 倍的值。这是由再结晶生长速度依存于基于照射能量密度分布的温度分布的急剧差异产生的区别引起的结果。制作了使用这些多结晶硅膜构成有源层的 MOS 晶体管。使得 MOS 晶体管漏极电流流动的方向成为扫描光束的方向, 即结晶生长的方向。

沟道长度以及宽度分别是 $5\mu\text{m}$ 以及 $10\mu\text{m}$ 。n-沟道的迁移率对于

照射能量密度的依存性示于图 10。如图 10 所示,对于照射强度 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ 下的线状光束宽度方向的照射能量密度分布的梯度的最大值为 $4\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ (照射强度为 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的值), 在照射强度为 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ (在照射能量密度分布梯度的最大值为 $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$) 以上时, MOS 晶体管的 n-沟道的迁移率成为 $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ 左右, 是稍低的值, 而对于 $30\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ (照射强度为 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的值), 迁移率成为 $200\text{cm}^2/\text{Vs}$, 达到非常高的值。这样, 根据照射能量密度的梯度的差别 MOS 晶体管的迁移率差别, 很大, 这一点起因于由于结晶粒的长度不同在 MOS 晶体管的有源层中载流子横跨结晶粒界的次数不同。为了制作要求高速·高性能的集成电路, 需要大致 $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的迁移率。从而, 需要使用照射能量密度分布的梯度的最大值大致为 $3\text{mJ}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 以上的线状光束剖面进行激光热处理。

另外, 作为膜材料, 在这里说明了硅, 当然对于由碳化硅 (SiC), 或者仅由碳构成的材料, 或者化合物半导体, 或者介质化合物, 或者高温超导化合物实施上述那样的激光热处理, 也具有可以得到大结晶粒径这样的相同效果。

在实施形态 10 中, 是把线状光束的宽度方向的剖面取为高斯分布。如果把宽度方向剖面取为高斯分布, 则在激光热处理时将带来非常良好的效果。如果与线状光束的扫描方向一致的宽度方向的剖面是高斯分布形, 则如在图 9 中所示那样, 把硅膜加热到熔点以上使其熔融的激光强度分布使具有阈值以上强度的中心区域外侧的激光的能量也照射到硅膜上, 虽然处在熔点以下但是仍然加热硅膜。即, 在对于扫描的行进方向处在相反一侧, 具有熔融阈值以下的激光强度的部分具有施加后退火的效果。

后退火具有进一步提高再结晶后的多结晶硅膜的结晶性的效果。由于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波对于硅的吸收系数低, 因此在硅膜中以激光强度成为 $1/e$ 而定义的渗透长度是 100nm 以上。从而, 直到再结晶后的硅膜的大致背面部分进行结晶缺陷补偿, 使结晶性进一步良好。该结果在当前进行的基于受激准分子激光器的热处理中是不能期待的。这是因为受激准分子激光器对于硅的吸收系数非常高, 渗透长度仅为 10nm 左右。

实施形态 11

在实施形态 11 中, 说明把实施形态 10 的激光热处理中的线状光束

的宽度方向的能量密度分布形状取为顶部平坦形的情况。在使线状光束的宽度方向的照射能量密度的梯度陡峭的情况下，伴随着梯度陡峭的同时峰值也升高。如果峰值过高，则硅膜被磨蚀，硅膜从基板剥离，不能够制作薄膜晶体管。从而，在梯度的陡峭化的同时需要抑制峰值。作为
5 满足以上条件的剖面，顶部平面形最为适宜。

实施形态 12

在实施形态 12 中，说明实施形态 10 的激光热处理中的线状光束的长度方向的能量分布形状。在实施形态 10 中，长度方向的能量分布形状是顶部平坦形，而由于起因于激光的相干性干涉，难以获得完全均匀的剖面，实际上如图 8 所示成为多少重叠了波纹的剖面。如从图 10 所
10 知的使用基于 Nd: YAG 激光器的第 2 高次谐波的激光热处理得到的多结晶的硅膜制作的 MOS 晶体管的特性那样，在 $600\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上对于照射能量密度成为恒定的特性。从而，在把线状光束的长度方向的能量分布的平坦部分的强度取为 1 的情况下，标准偏差可以是 0.3 以下，最好是 0.2
15 以下。

实施形态 13

在实施形态 10 的激光热处理中，也与实施形态 1 的激光热处理相同，能够应用分别在实施形态 2~9 的每一个中叙述的半导体装置、线
20 状光束的形状、照射强度、向同一个位置的激光照射次数、非晶质或者多结晶的硅膜的膜厚、照射激光的脉冲时间宽度、激光的能量以及激光器。

应该考虑，以上公开的本实施形态在所有的各点都是例示性而并不是限制性的。本发明的范围不是由以上的实施形态、而是由权利要求来表示，包括与权利要求均等的意义以及范围内的所有的修正或者变更。

产业上的可利用性

25 本发明的激光热处理方法和激光热处理装置可以用于例如为了实现应用于液晶面板的像素部分的高迁移率的薄膜晶体管而形成结晶性良好的多结晶的硅膜的方面。另外，使用本发明的激光热处理方法或者激光热处理装置制造的半导体装置例如能够应用于构成液晶面板的像素部分
30 的薄膜晶体管中。

01-01-10

说明书附图

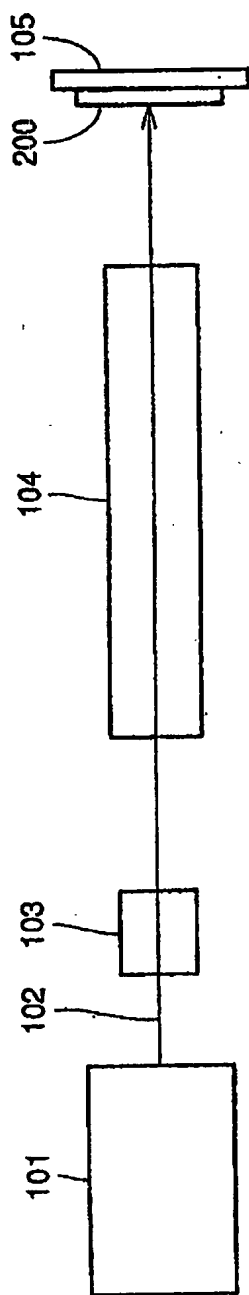


图 1

01-01-10

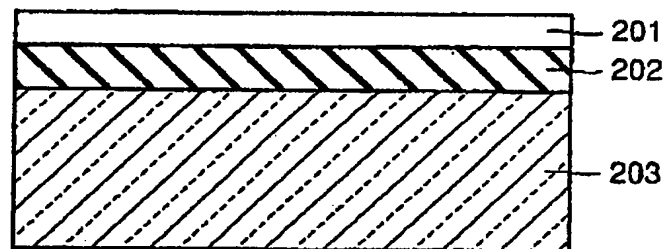


图 2

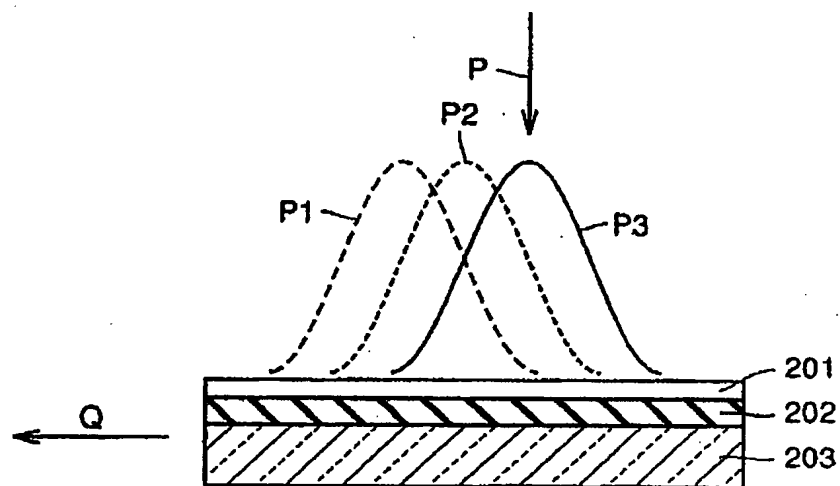


图 3

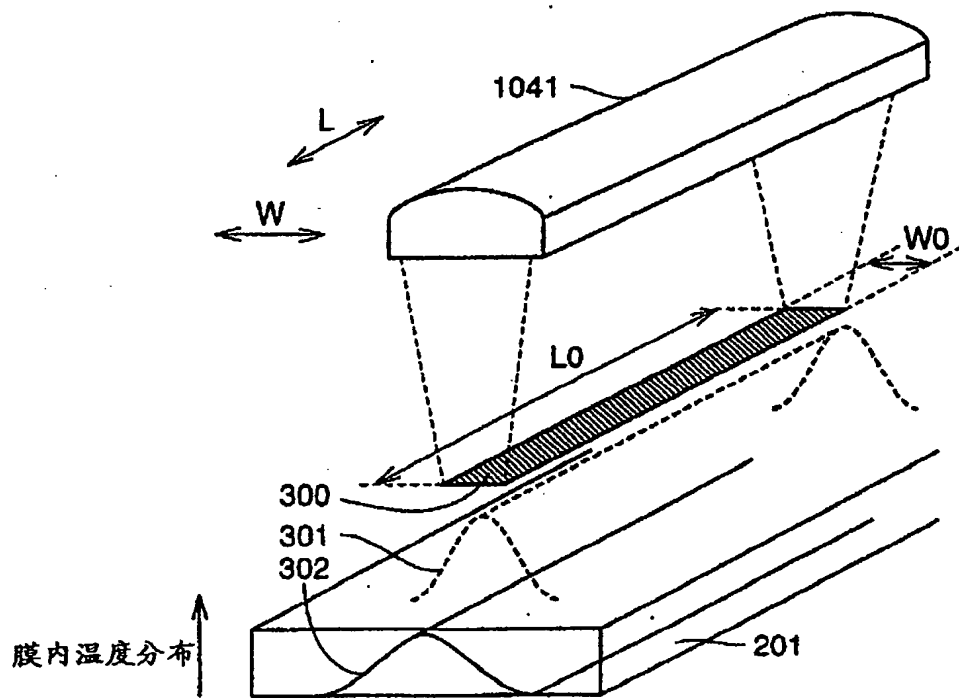


图 4A

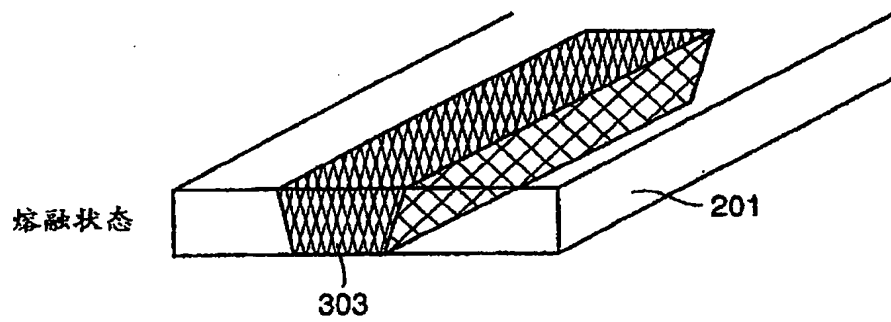


图 4B

01.01.10

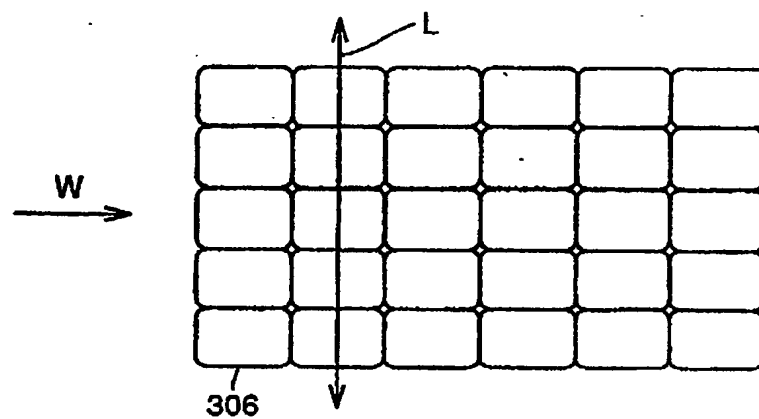


图 5

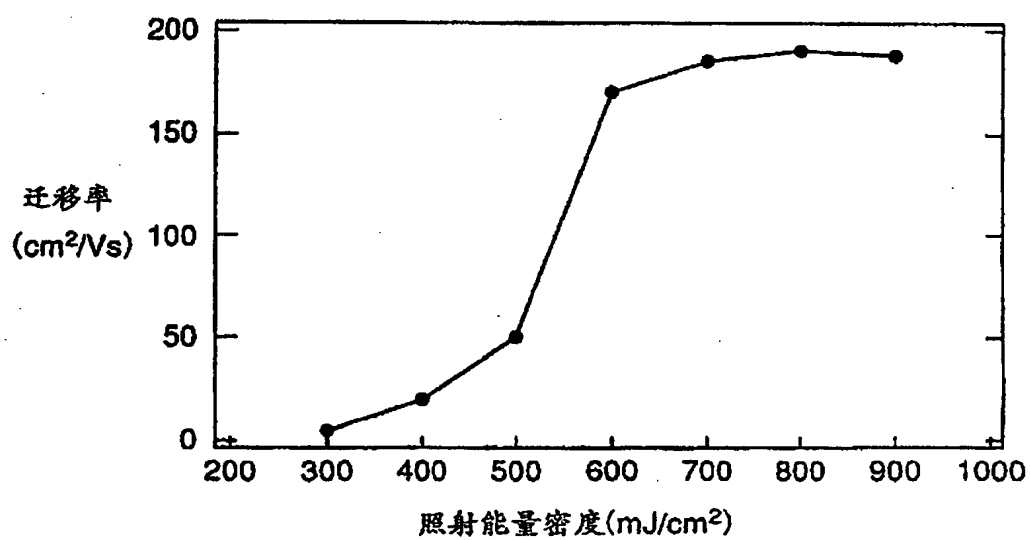


图 6

01.01.10

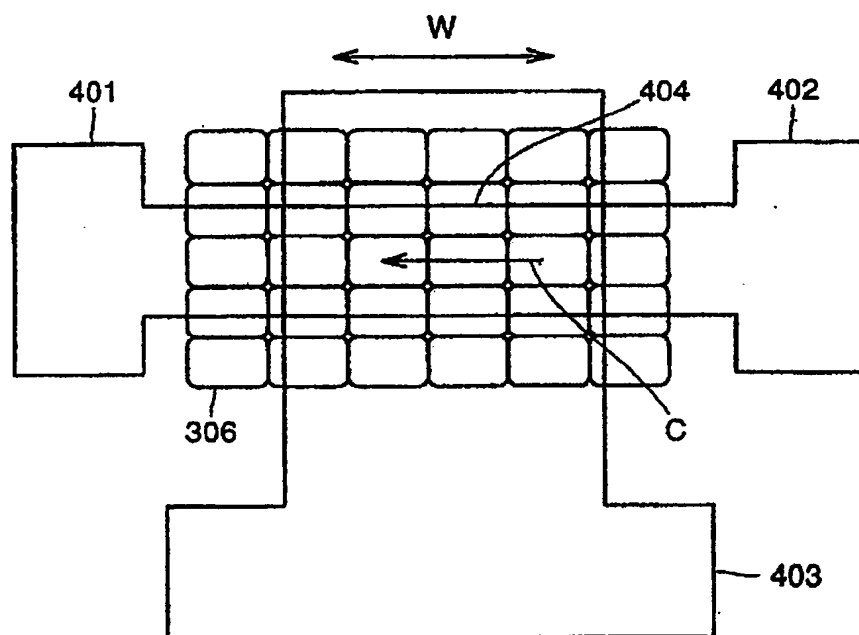


图 7

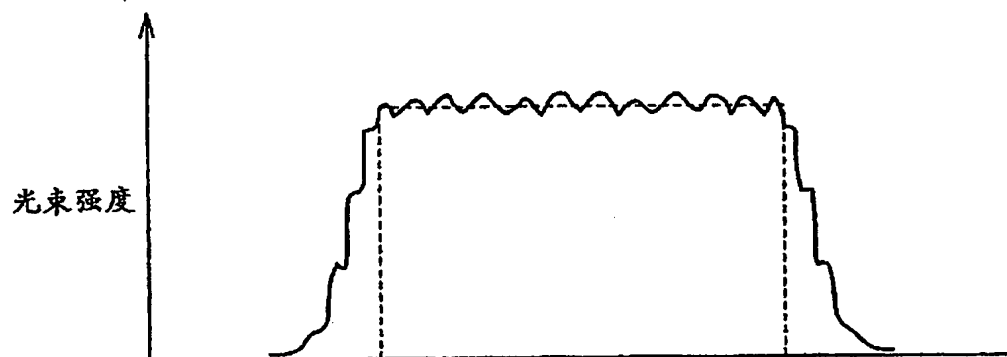


图 8

01-01-10

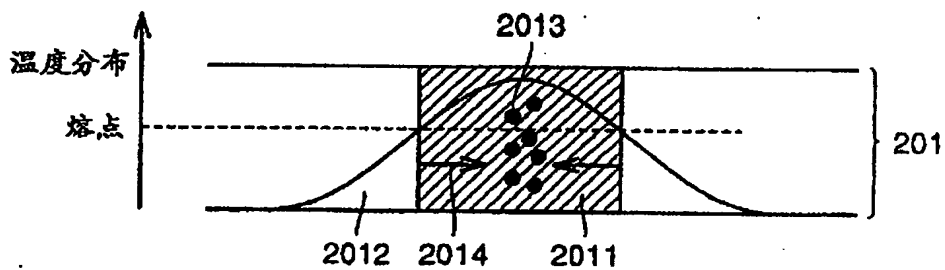


图 9

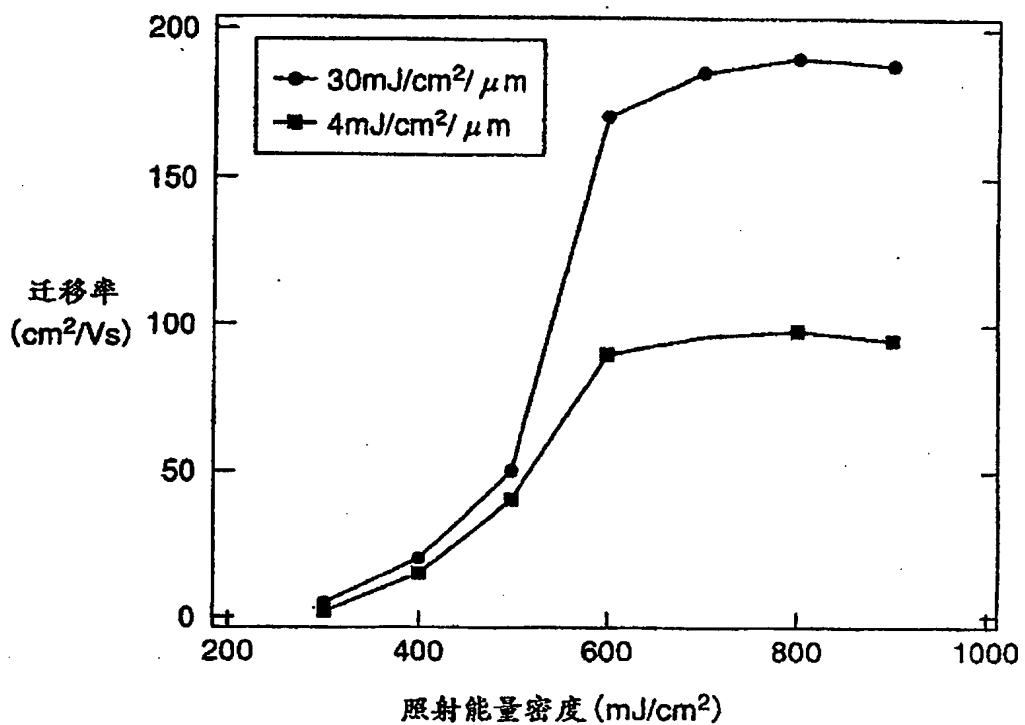


图 10

01.01.10

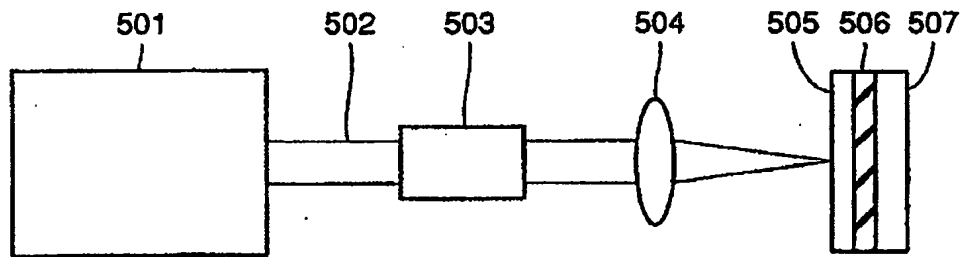


图 11
现有技术

01-01-10

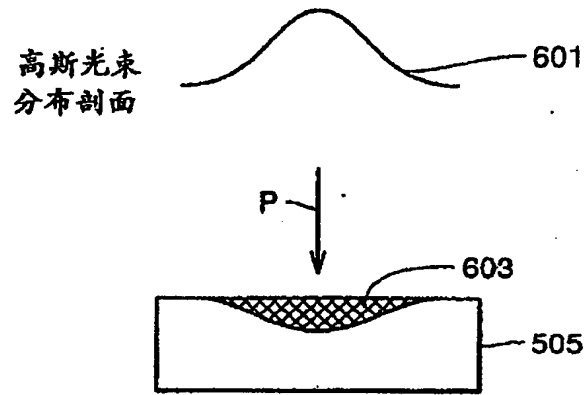


图 12A 现有技术

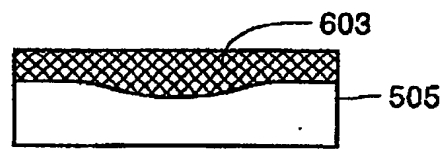


图 12B 现有技术

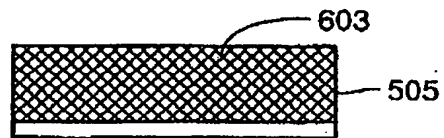


图 12C 现有技术

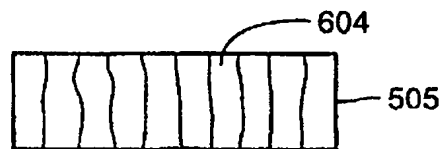


图 12D 现有技术

01.01.10

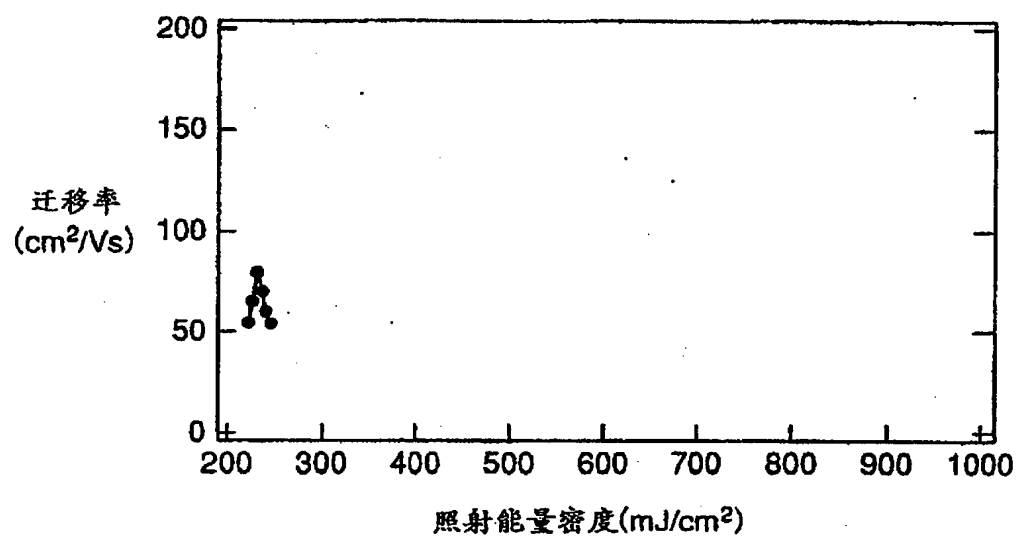


图 13
现有技术

01-01-10

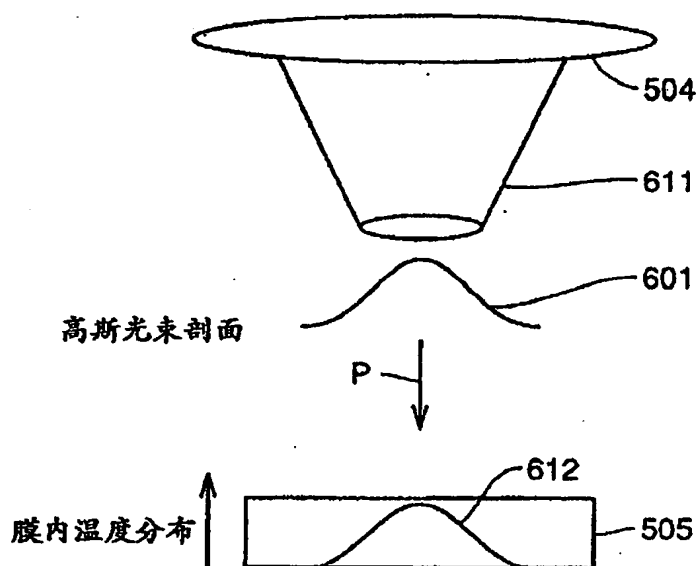


图 14A 现有技术

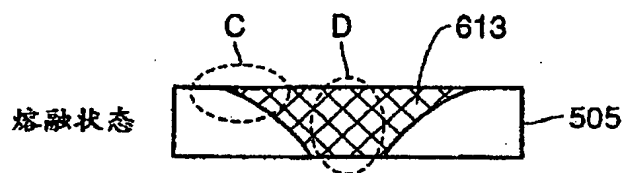


图 14B 现有技术



图 14C
现有技术

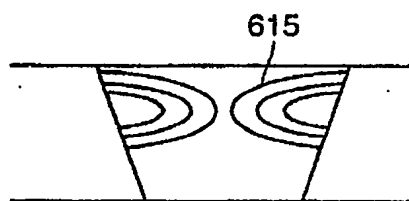


图 14D 现有技术

01.01.10

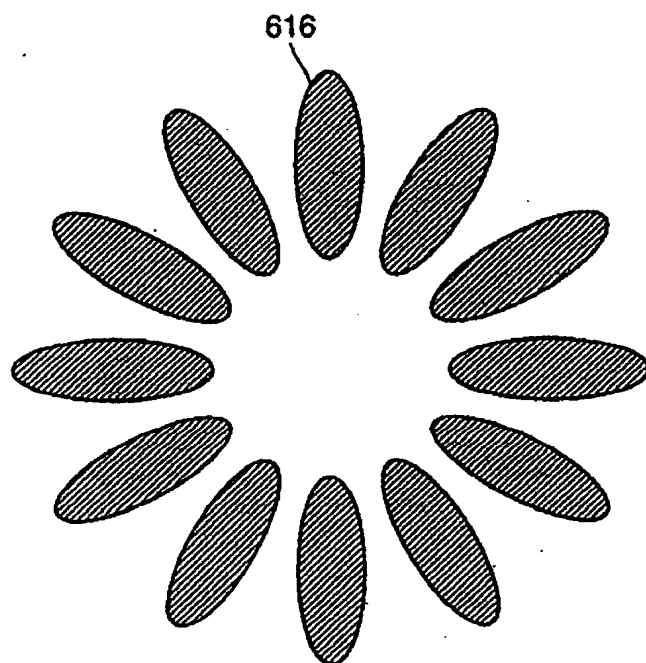


图 15 现有技术

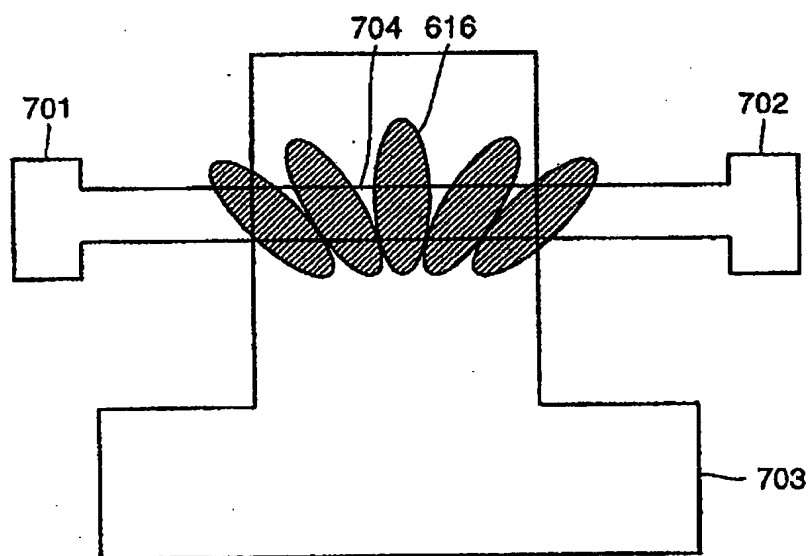


图 16 现有技术